

空港内航空機移動シミュレーション・システム

(株)三菱総合研究所 正員 ○ 西宮 良一
青木 洋一

1. はじめに

空港の基本施設である滑走路、誘導路、エプロン(スポット)は、一旦建設されるとその後大規模な改修を行うことは巨額の費用と長い期間を必要とするため、その効率的な運用が空港運営上の重要な課題となる。空港の基本施設を一体のものとして扱い、空港内の航空機の動き、特に航空機遅延の発生を総合的に解析する手法として、米国では連邦航空局(FAA)の遅延シミュレーションモデル(DSM)が用いられてきたが、我が国の空港に対して適用する場合には、いくつかの問題となる点があった。本システムは、国内の空港事情に合った形で、空港内での航空機の移動を動的に把握・解析するシミュレーション・システムであり、独自開発のシステムとしては我が国で最初のものであろう。

2. シミュレーション・システムの主要な機能

本シミュレーション・システムで用いているモデルは、一機ごとの航空機の動きを、滑走路への着陸から、再び離陸するまでについて、最早イベント(Fast Time Critical Event)に着目して解析するモデルである。与えられた航空機ダイヤ、施設配置、施設使用方法、誘導方法に対して、次の出力項目が得られる。

- ① 滑走路、誘導路、エプロンにおける各航空機の遅延発生状況
- ② 上記①の集計結果として、時間帯別・地点別総遅延時間、並びに航空機別遅延時間
- ③ 任意の一時点における空港内での各航空機の位置
(スナップ・ショット)および待ち状態にある航空機
- ④ 時間帯別に実際に処理できた到着・出発機数

3. シミュレーション・システムの構成

本シミュレーション・システムは、図-1に示すように、モデルを用いたシミュレーションを中心に、その前段としてのシミュレーション・データの作成およびシミュレーション終了後の結果の集計・解析のプログラム群により構成されている。

① 航空機OD作成プログラム群

将来発着回数の予測結果より、航空機発着時刻表を設定し、次に使用する旅客ターミナル、エプロン・スポット、滑走路を決定し、各航空機の空港内のODを設定するプログラム群である。

② 航空機OD別通行リンク設定プログラム群

誘導路、エプロン・スポットの配置計画図を基に、空港内の通行路ネットワークを作成し、航空機のODごとに通行するすべてのリンクを予め決定するためのプログラム群である。

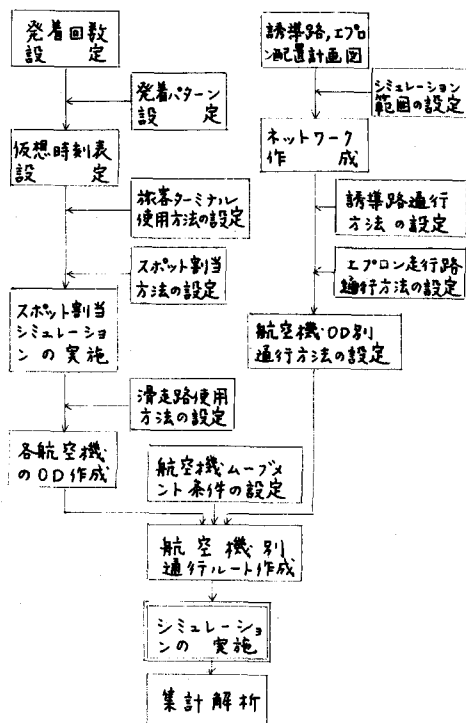


図-1 シミュレーション・システムの構成

③航空機移動シミュレーション・モデル

上記の①、②のデータを用いて、各航空機を空港内のリンクごとに動かすシミュレーション・モデルである。

④シミュレーション結果の集計・解析プログラム群

シミュレーション結果は、すべてファイルに出力され、再度シミュレーションを行うことなく、様々な集計・解析をこのプログラム群により行うことができる。

4. シミュレーション・モデル

航空機移動シミュレーションの中心となるシミュレーション・モデルの概要について、以下説明を行う。

(1) シミュレーションの対象とする範囲

本モデルにおいて、空港に着陸する航空機は空域より滑走路アプローチに入った時点で、着陸待行列に加わる。なお、滑走路アプローチへは予め設定したダイヤ通りの時刻に接近するものとしており、途中空路での遅れは、本モデルの対象範囲外としている。また空港より離陸した航空機は、滑走路端上空を横切った時点で、シミュレータから消去している。なお、本モデルでは、エプロン・スポットでのサービス作業の遅れは考えていないが、スポットインの遅れが生じた場合は、スポットアウトが同じ時間だけ遅れるものとしている。

(2) 空港内での航空機の動きのシミュレーション方法

本モデルでは、空港内をネットワークと考え、誘導路等をリンクに分割し、航空機1機ごとの動きをリンクの出入り単位でとらえている。本モデルは一定間隔ごとに航空機の動きをシミュレートする方式ではなく、次の最早イベントに注目してシミュレーション時間を進めるイベント・シーケンシャル型のシミュレータである。

分岐、合流、交差がない最も単純な型の誘導路を例にとり、航空機の動かし型を説明する。(図-2参照)

最初の状態として①に示すように航空機が1つのリンク内に存在している状態を考える。次のリンクが空いており進入可能であれば、その航空機の先端が次のリンクに入る(②の状態)。これをリンク入りと言う。リンク入りを繰り返して、航空機が③のように2つ以上のリンクにまたがって存在することもある。④に示すように、航空機の先端が次のリンクに入り、同時にその航空機の後端が占有したリンクより出る場合、これをリンク出入りと呼ぶ。リンク出により解放された後方のリンクには、他の航空機が進入可能となる。⑤、⑥に示すように、前方のリンクへの進入の可否を調べ、リンク出、リンク入りあるいはリンク出入りを行いながら航空機は前進して行く。前方のリンクに進入できない場合には、そのリンクの手前で停止して待つことになり、これをリンク入り待ちと称している。なお、図-2における航空機の長さは、航空機全長にブラスト(排気)影響長、停止距離等を考慮して、Jumbo Jet機(全長約70m)に対して140mと設定している。

(3) 空港内のリンク分割の方法

空港内走行の航空機は、一機で前述のように誘導路延長140mを占有する。この点を考慮して、誘導路のリンク分割は、単路部においては原則として140m以上としている。なお、誘導路の交差部においては、リンク長を短くしており、この場合には、航空機は占有長の計が140m以上となるように、ユリンク以上にまたがって存在するものとする。但し、いずれの場合にも1リンクには1機しか進入できないものとしている。また、エプロン・スポット、滑走路も誘導路と同様にリンクとして表現している。

(4) シミュレーションで対象としている事象

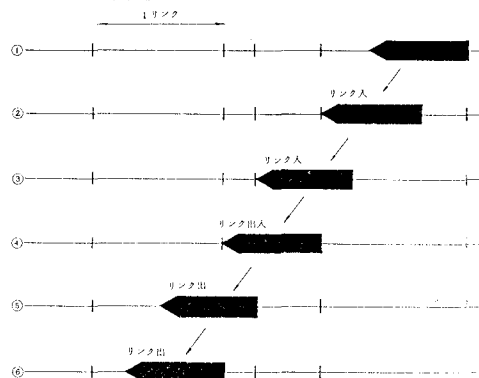


図-2 航空機の動きに伴う事象

図-3に本シミュレーション・モデルにおける全体フローを示す。ここで各航空機(A/C)に発生する事象(イベント)として次の9種類のものを考えている。

- ①航空機先端のリンク入り
- ②航空機後端のリンク出
- ③①と②が同時に起こるリンク出入り
- ④スポットアウト開始
- ⑤スポットアウト完了
- ⑥着陸
- ⑦スポットイン完了
- ⑧離陸
- ⑨リンク入り待ちによる停止

(5) 前方進路の占有予約

ファーストイン・

ファーストアウト型のシミュレーション・システムでは、誘導路の交差部に先着した航空機は必ず先に通過する。しかし現実には、自走機が後着する場合は、これを予測して先着する予定のトーイング(牽引走行)機を止めて待たせておくことがある。また、高速で走行する航空機の直前を他の航空機が横切るといったこともシミュレーション上では起こる可能性がある。そこで本モデルでは、優先度の高い自走機のみ、その前方の数リンクを探索し、リンク占有の予約を行っている。ただし、この航空機が待ち状態となり停止した場合には、この予約を解除し他の航空機に進路を譲ることになっている。

(6) 航空機の待ち状態

モデル内で各航空機は前方の数リンクを探索し、この区間に進入不能リンクが存在する場合、そこで待ち状態となり減速を開始する。そして待ち状態が解除されずに減速しつつ進行を続け、進入不能のリンクの直前で停止に至ると、以降次のイベント探索の対象外となる。この航空機は、他の航空機によって待ち状態を解除されるまで待機を続ける。この待ち状態解除の手順は次のとおりである。待ち状態に入った航空機に対して、他の航空機がリンク出となった時刻ごとに、待ち状態が解除可能かどうかを調べ、もし可能ならば最も優先度の高い航空機1機の待ち状態を解除し、進路を割り当てる。この航空機は以降イベント探索の対象となる。

(7) モデル上での特殊な航空機の動き

本モデルでは、図-2で説明した単純なリンク構成の誘導路の通行のほか、空港内の特殊な地点での航空機の動きをシミュレートしており、以下これに関して説明する。

i) 誘導路交差部リンクの制御(図-4)

航空機が誘導路の交差部を通行する場合、翼が互いに触れないような間隔を保持しなければならないが、通

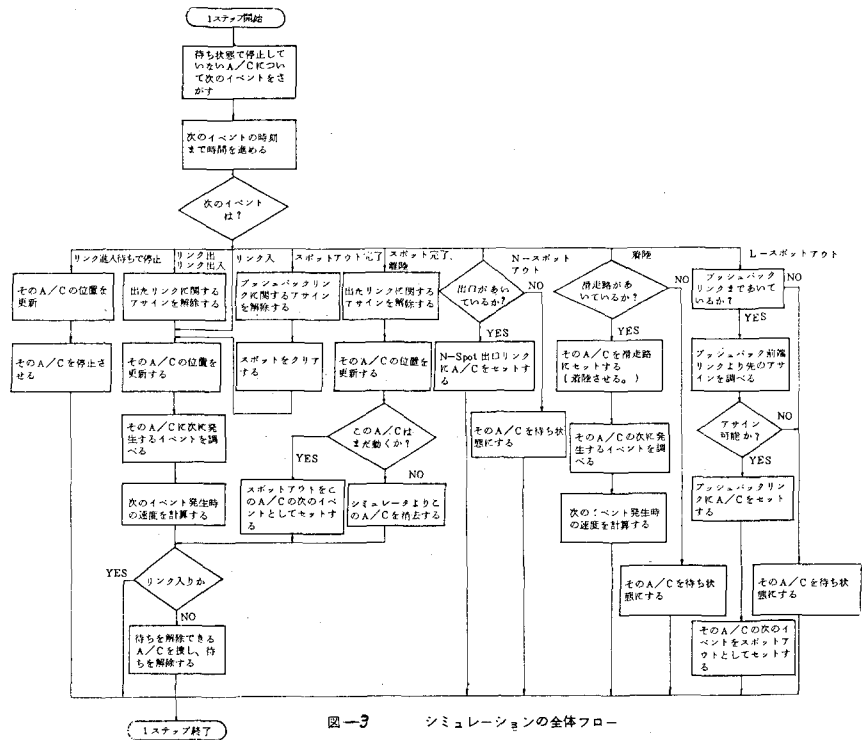


図-3 シミュレーションの全体フロー

常のネットワーク・シミュレーションでは、航空機の幅を考慮することができない。このため本モデルでは、交差部に航空機が進入する場合、支障する隣接リンクも同時に制御（占有）することになっている。

ii) 交互通行路の通行制御（図-5）

空港内の誘導路には、ずれの方にも通行可能であるが途中でのすれ違いのできない交互通行路がある。このような通行路では、一方より航空機が接近した場合、その前方リンクに対して通行方向をアサインする。アサインされたリンクでは、逆方向の通行が許されなくなる。

iii) スポットアウトの制御（図-6）

航空機がエプロン・スポットより出発する場合、逆向きに押出す（プッシュバック）必要がある。この場合プッシュバックに要する時間だけ、スポット及びプッシュバックリンクの双方を占有していると考えている。

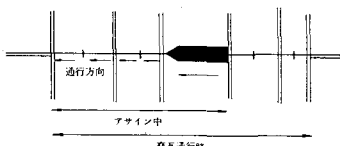


図-5 交互通行路の制御

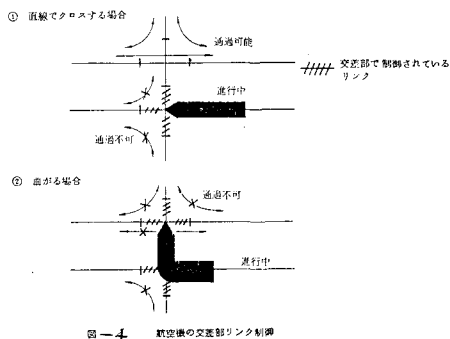


図-4 航空機の交差部リンク制御

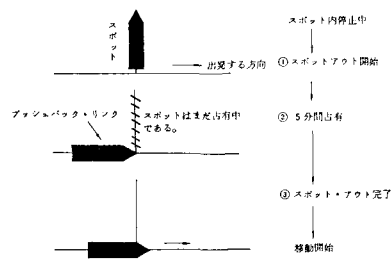


図-6 スポットアウトの手順

5. 使用上の問題点及び今後の機能の拡張

本システムを用いて、実際に空港内の航空機の移動を解析した場合に、現在のところ発生している問題点は、電算機が誘導上、臨機応変な判断ができないため、交通が輻湊する地点で、各航空機間で進路の奪い合いによるデッドロックが生ずるケースがある点である。これは判断に際し、各航空機の前方しか見ておらず、空港全体を見渡したグローバルな判断ができるモデルとなっていないためであり、今後の改善を要する点である。

なお、本シミュレーション・システムを用いることにより、空港の基本施設の持つ問題点がかなり鮮

明に抽出されるが、現時点では膨大なシミュレーション結果をすべて活用しているとは言い難い。そのため今後は、図-7に示したように、結果をグラフィック・ディスプレイやプロッターにグラフィックに表示するプログラムを開発していく必要がある。また、結果をグラフィック・COMに出力することにより、16mmフィルムによるコンピュータ・アニメーションを作成することも可能であり、シミュレーション結果のわかりやすい呈示という面で、今後積極的に活用して、各地の空港計画に役立てていきたい。最後に、貴重な助言を頂いた、運輸省港湾技術研究所奥山氏に感謝の意を表したい。

（参考文献）

1. 奥山育英他：「海上交通のマクロ評価シミュレーション」，第6回電算機利用に関するシンポジウム（p56）
2. 林光夫他：「空港容量について」，オペレーションズ・リサーチ，1980年9月号

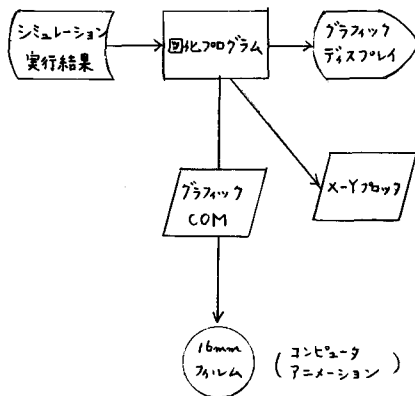


図-7 シミュレーション結果のグラフィック表示